

**(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)**

**(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle**  
Bureau international



**(43) Date de la publication internationale**  
20 juin 2002 (20.06.2002)

**PCT**

**(10) Numéro de publication internationale**  
**WO 02/47800 A1**

**(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :**  
**B01D 61/22, 65/02, 65/08, C02F 1/44**

**(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :** ON-DEO SERVICES [FR/FR]; Parc de l'Ile, 15-27 rue du Port, F-92000 NANTERRE (FR).

**(21) Numéro de la demande internationale :**  
PCT/FR01/03828

**(72) Inventeurs; et**

**(22) Date de dépôt international :**  
4 décembre 2001 (04.12.2001)

**(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :** VINCENT, Nathalie [FR/FR]; 9, Impasse des morènes, F-31130 QUINT-FONSEGRIVES (FR). CABASSUD, Corrine [FR/FR]; 16 rue de la Polynésie, F-31650 SAINT ORENS DE GAMEVILLE (FR). CABASSUD, Michel [FR/FR]; 16 rue de la Polynésie, F-31650 SAINT ORENS DE GAMEVILLE (FR). DURAND-BOURLIER, Laurence [FR/FR]; 64 Avenue Marguerite Renaudin, F-92140 CLAMART (FR). LAINE, Jean-Michel [FR/FR]; 10 Allée des Fauvettes, F-78920 ECQUEVILLY (FR).

**(25) Langue de dépôt :** français

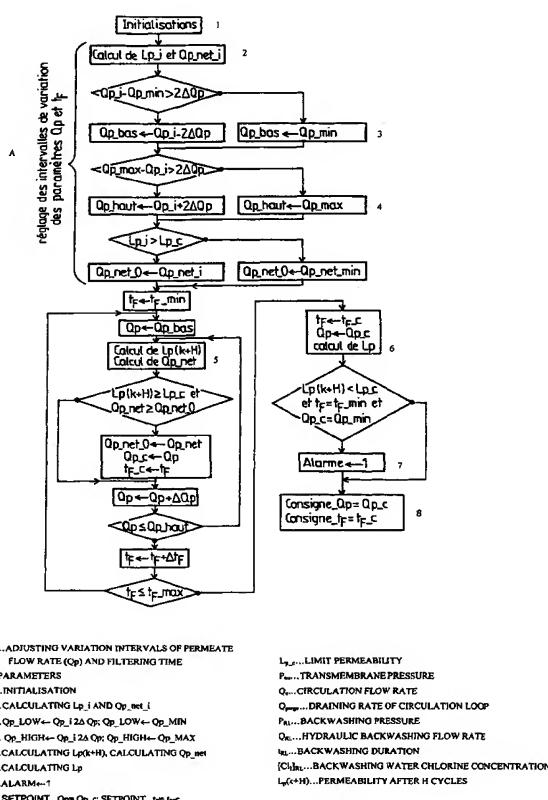
**(26) Langue de publication :** français

**(30) Données relatives à la priorité :**  
00/16249 13 décembre 2000 (13.12.2000) FR

*[Suite sur la page suivante]*

**(54) Title: METHOD FOR REGULATING A MEMBRANE FILTERING INSTALLATION**

**(54) Titre : PROCEDE DE REGULATION D'UNE INSTALLATION DE FILTRATION SUR MEMBRANES**



**(57) Abstract:** The invention concerns a method for avoiding irreversible membrane clogging while maximising productivity, whatever the quality of the fluid at the installation intake. It consists in automatically controlling the installation operating parameters by performances induced by the quality of the fluid to be treated, based on predictions concerning the evolution of the membrane clogging carried out by modelling with a neuron network so as to simulate the long term operating conditions of the membrane filtering installation, the model enabling, on the basis of the quality of the in-flowing fluid and on the state of the membranes during a given cycle, to calculate the evolution of the clogging state of said membranes on a time basis, on a specific horizon, said calculation being performed for a simulated in-flowing quality, constant or variable, on said horizon (H) and to control and adjust the installation operating parameters.

**(57) Abrégé :** Ce procédé vise à éviter le colmatage irréversible des membranes tout en maximisant la productivité, quelle que soit la qualité du fluide à l'entrée de l'installation. Il consiste à assurer les paramètres de fonctionnement de l'installation aux performances induites par la qualité du fluide à traiter, en fonction de prédictions d'évolution du colmatage membranaire effectuées par modélisation par réseaux de neurones de façon à simuler le fonctionnement à long terme de l'installation de filtration sur membranes, le modèle permettant en fonction de la qualité du fluide influant et de l'état des membranes lors d'un cycle donné, de calculer l'évolution de l'état de colmatage desdites membranes en fonction du temps, sur un horizon déterminé, ledit calcul étant effectué pour une qualité du fluide influant simulée, constante ou variable, sur cet horizon (H) et de contrôler et d'ajuster les paramètres de fonctionnement de l'installation.

**WO 02/47800 A1**



(74) **Mandataires :** ARMENGAUD, Alain etc.; Cabinet ARMENGAUD AINE, 3, Avenue Bugeaud, F-75116 PARIS (FR).

(81) **États désignés (national) :** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés (régional) :** brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet

eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— *avec rapport de recherche internationale*

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

Procédé de régulation d'une installation  
de filtration sur membranes

La présente invention concerne l'exploitation de stations de filtration sur membranes et plus particulièrement la régulation de telles installations par modélisation prédictive du colmatage, par exemple, par 5 réseaux de neurones.

On sait que l'utilisation de membranes, notamment d'ultrafiltration, est devenue générale au cours des dernières années, notamment dans le domaine /de la 10 production d'eau potable ou industrielle. Les membranes à fibres creuses ainsi utilisées permettent de répondre aux exigences de la qualité des eaux, même dans le cas d'une dégradation des ressources.

15 De nombreuses recherches ont actuellement pour but d'améliorer la productivité des installations de production d'eau potable ou industrielle mettant en œuvre de telles membranes. Ces recherches reposent sur la connaissance des différents facteurs et phénomènes impliqués dans la 20 filtration des eaux de surface ou autres fluides de qualité variable. Le premier facteur limitant la production des membranes résulte du dépôt de particules sur la surface et/ou dans les pores des membranes. Ce premier facteur est un phénomène à court terme. Afin d'éliminer ces particules 25 qui se déposent sur les membranes sous la forme d'une couche ou gâteau, on effectue périodiquement des lavages hydrauliques, pneumatiques ou hydro-pneumatiques. Le second

facteur limitant est l'adsorption de matières organiques sur la surface des membranes et dans les pores de cette dernière, ce facteur constituant un phénomène à long terme.

5       La partie du colmatage des membranes pouvant être éliminée par lavages hydrauliques, pneumatiques ou hydro-pneumatiques est souvent dénommée colmatage réversible, alors que l'autre partie est appelée colmatage irréversible.

10

Il existe de nombreux paramètres impliqués dans le colmatage des membranes utilisées dans le traitement de l'eau. Il s'agit d'une part des paramètres relatifs à la qualité du fluide à traiter et d'autre part des paramètres 15 de fonctionnement, ces deux types de paramètres étant interdépendants.

On comprend que l'une des façons permettant de savoir comment augmenter la productivité de l'installation de 20 filtration réside dans une meilleure compréhension des phénomènes qui sont impliqués dans le colmatage des membranes. On est amené, dans ce but, à effectuer une modélisation de l'installation membranaire. Bien qu'il existe un très grand nombre d'études consacrées au 25 colmatage, les modèles qui ont été réalisés ne sont pas applicables pour décrire le colmatage des membranes par des fluides complexes tels que les eaux naturelles. Il existe cependant un certain nombre d'outils prometteurs permettant de développer des modèles de simulation. Parmi ceux-ci, on 30 peut citer les réseaux de neurones artificiels. De tels réseaux ont été utilisés avec succès dans la prédiction de performances à court terme. Par ailleurs, on a envisagé de

développer un modèle permettant d'assurer une prédition de la productivité d'une installation d'obtention d'eau potable, cette prédition reposant à la fois sur la qualité de l'eau à traiter et sur des paramètres de fonctionnement sur le long terme, en tenant compte d'un nombre minimal de paramètres. A cet égard, on peut se référer à la publication « NEURAL NETWORKS FOR LONG TERM PREDICTION OF FOULING AND BACKWASH EFFICIENCY IN ULTRAFILTRATION FOR DRINKING WATER PRODUCTION » de N. Delgrange-Vincent et al, 10 parue dans Desalination, 131, pp 353-362, 2000.

On se réfère maintenant à la figure 1 des dessins annexés qui représente de façon schématique une installation pilote d'ultrafiltration utilisée pour 15 l'obtention d'eau potable.

Sur cette figure, on a schématisé le module d'ultrafiltration du type à fibres creuses. L'eau à traiter est préalablement préfiltrée, puis injectée dans la boucle 20 de circulation du module à l'aide d'une pompe P1, une pompe P2 assurant la circulation dans la boucle.

Les facteurs relatifs à la qualité de l'eau sont les suivants :

25 - température T ;  
- conductivité ;  
- pH ;  
- concentration en oxygène dissous ( $O_2$ ) ;  
- COT (carbone organique total) ;  
30 - potentiel redox EH ;  
- turbidité (Tur) ;  
- absorbance UV (uv) .

Les paramètres de fonctionnement de l'installation sont les suivants :

- la pression transmembranaire,  $P_{tm}$  ;
- le débit de perméat,  $Q_p$  ;
- 5 - le débit de circulation,  $Q_c$  ;
- le débit de purge de la boucle de circulation,  $Q_{Purge}$  ;
- le temps de filtration,  $t_f$  ;
- la pression de rétrolavage,  $P_{RL}$
- 10 - la durée de rétrolavage,  $t_{RL}$  ;
- le débit de rétrolavage hydraulique,  $Q_{RL}$  ;
- la concentration en chlore (ou autre additif chimique) de l'eau de rétrolavage,  $[Cl_2]_{RL}$  ;
- les paramètres caractéristiques de l'injection 15 d'additifs pendant le cycle de filtration, aux fins d'augmenter les performances de la filtration et/ou la qualité de l'effluent filtré.

L'installation produit un débit constant de perméat  $Q_p$  20 entraînant une augmentation de pression lors de la période de filtration. Le débit de circulation  $Q_c$  représente la vitesse d'alimentation à l'admission du module. On effectue périodiquement des lavages hydrauliques des membranes avec de l'eau filtrée additionnée de chlore. On peut ainsi 25 diminuer le niveau de colmatage de la membrane.

La résistance hydraulique totale du module d'ultrafiltration est exprimée par la relation :

$$R = T_{mp} / (\mu \cdot Q_p / S)$$

30 où  $\mu$  est la viscosité de l'eau, fonction de la température  $T_{mp}$  est la pression transmembranaire moyenne et  $S$  est la surface membranaire.

La résistance totale comprend la résistance de la membrane, la résistance due au colmatage réversible et la résistance due au colmatage irréversible. Dans le cas d'un débit constant de perméat, la résistance augmente durant la 5 période de filtration et elle décroît après rétrolavage ainsi qu'on l'a représenté sur la figure 2 des dessins annexés.

Par conséquent, une courbe de production est 10 constituée de cycles, chacun de ceux-ci étant caractérisé par la résistance ( $R_f$ ) à la fin du cycle de filtration et au début du cycle suivant, c'est-à-dire après lavage hydraulique ( $R_d$ ). Des variations des durées des cycles ( $R_f$ ) et ( $R_d$ ) suffisent donc à caractériser et à décrire les 15 variations du processus de filtration.

Les performances d'un pilote de production peuvent être exprimées par :

- la production brute, c'est-à-dire le débit de 20 perméat en sortie du module et  
- la production nette, prenant en compte les pertes en eau lors des lavages et la non production pendant le temps de lavage.

25 Dans le cas d'un rétrolavage, le débit net s'exprime par la relation :

$$Q_{p_{net}} = (V_F - V_{RL}) / (t_F + t_{RL})$$

dans laquelle :  $V_F$  est le volume filtré ;

$V_{RL}$  est le volume de rétrolavage ;

30  $t_F$  est le temps de filtration et

$t_{RL}$  est le temps de rétrolavage.

L'objet de la présente invention est d'apporter un procédé de régulation d'une installation de filtration sur membrane conçue de façon à éviter un colmatage irréversible des membranes tout en maximisant la productivité (estimée 5 par un critère adapté, tel que la production nette), quelle que soit la qualité du fluide entrant dans le système. En d'autres termes, le problème devant être résolu par la présente invention consiste à asservir les performances d'une installation de filtration à la qualité du fluide 10 entrant ; cet asservissement est directement fonction de l'évolution du colmatage de ladite installation, évolution prédicta par modélisation par réseaux de neurones, de façon à simuler le fonctionnement à long terme de l'installation de filtration, le modèle permettant, en temps réel, de 15 contrôler et de commander l'installation.

Si l'on se réfère au concept du flux critique, tel qu'explicité dans la littérature, il est préférable de fonctionner à un flux suffisamment faible pour éviter 20 totalement un colmatage réversible. Par ailleurs, on a observé que lorsque la résistance hydraulique des membranes augmente en début de cycle, l'intensité du colmatage irréversible augmente avec le temps. Cette constatation signifie que plus la membrane est colmatée, plus 25 l'intensité du colmatage irréversible augmente. Il se pose alors un problème qui est dû au fait que le flux produit est extrêmement faible lorsque l'eau traitée est de mauvaise qualité. Un compromis consiste à trouver, à chaque cycle, les conditions opératoires telles que, même si un 30 colmatage se produit, il est possible de l'éliminer par lavage hydraulique, et de faire en sorte que ce colmatage ne soit pas irréversible.

Afin d'effectuer cette régulation, il est possible d'agir sur un certain nombre de paramètres de fonctionnement, lesquels ainsi qu'on l'a vu ci-dessus, peuvent être choisis parmi :

5        - la pression transmembranaire,  $P_{tm}$  ;  
          - le débit de perméat,  $Q_p$  ;  
          - le débit de circulation,  $Q_c$ , avec passage possible d'un mode de recirculation à un mode frontal ;  
          - le débit de purge de la boucle de circulation,  
10       $Q_{purge}$  ;  
          - le temps de filtration,  $t_f$  ;  
          - la pression de rétrolavage,  $P_{RL}$  ;  
          - la durée de rétrolavage,  $t_{RL}$  ;  
          - le débit de rétrolavage hydraulique,  $Q_{RL}$  ;  
15      - la concentration en chlore (ou autre additif chimique) de l'eau de rétrolavage,  $[Cl_2]_{RL}$  ;  
          - les paramètres caractéristiques de l'injection d'additifs pendant le cycle de filtration, aux fins d'augmenter les performances de la filtration et/ou la  
20      qualité de l'effluent filtré.

La présente invention a retenu, à titre d'exemple, pour cette régulation, d'une part le temps de filtration et d'autre part le débit de perméat, étant bien entendu que 25 d'autres combinaisons de paramètres de fonctionnement peuvent également être mises en jeu sans sortir pour autant du cadre de l'invention.

On aurait pu envisager de travailler à débit de 30 perméat et temps de filtration minimaux de façon à choisir l'approche la plus prudente par rapport au phénomène de colmatage, mais dans ce cas, la productivité serait trop

faible. Selon l'invention, on intervient donc sur les paramètres de productivité, tels que par exemple débit de perméat et temps de filtration de manière à trouver un compromis entre la plus forte production d'eau d'une part, 5 et l'intensité du colmatage d'autre part, la quantification de ce compromis étant obtenue à l'aide d'un modèle par réseaux de neurones qui calcule, en fonction de la qualité du fluide à traiter et de l'état de la membrane à un cycle donné, l'évolution de la perméabilité de la membrane en 10 fonction du temps, sur un horizon déterminé, la qualité du fluide étant simulée (constante ou variable) sur cet horizon.

A priori, deux cas peuvent se présenter :

15

1°) la qualité du fluide à traiter est telle que le colmatage de la membrane augmente fortement sur l'horizon de prédition, l'état de colmatage de la membrane pouvant être décrit par des paramètres tels que la résistance 20 hydraulique, la perméabilité ou la pression transmembranaire. Il est alors nécessaire de diminuer les performances que l'on demande du module de filtration membranaire (tels que par exemple débit et/ou temps de filtration) en attendant que la qualité du fluide traité 25 s'améliore ;

2°) la qualité du fluide est relativement bonne et l'intensité du colmatage de la membrane reste faible. On peut alors augmenter la production au cycle suivant.

30

On a vu ci-dessus que l'état de la membrane à un cycle donné, peut être caractérisé par sa perméabilité, sa

résistance hydraulique en début de cycle ou sa pression transmembranaire. Le procédé de régulation objet de l'invention se fixe un niveau de colmatage limite en début de cycle, caractérisé par une perméabilité limite ( $Lp_c$ ) et 5 on fait en sorte que l'installation fonctionne avec une perméabilité égale ou supérieure à cette valeur.

Ainsi selon l'invention, à chaque cycle  $k$ , on va :

10 1°) acquérir sur le pilote les valeurs de tous les paramètres de qualité et des conditions opératoires nécessaires au modèle ;

15 2°) les porter en entrée du modèle de réseaux de neurones, qui va calculer la résistance sur un certain horizon de prédiction, ce qui permet d'accéder à la perméabilité au bout de  $H$  cycles, soit  $Lp(k+H)$ . Pour ces calculs, on considère que les paramètres de qualité et les conditions opératoires du module sont constants sur  $H$  20 cycles et égaux aux valeurs correspondantes du cycle  $k$ . Il est également possible de prendre une valeur constante égale aux valeurs moyennes sur  $n$  cycles qui précèdent le cycle  $k$ . On peut également envisager de prendre en compte un profil de variations des valeurs de ces paramètres sur  $H$  25 cycles.

Deux cas peuvent se présenter :

- Cas A :  $Lp(k+H) < Lp_c$  : ceci signifie que la membrane se colmate au-delà des limites fixées. Il est donc nécessaire de diminuer la productivité imposée.

30 - Cas B :  $Lp(k+H) > Lp_c$  : ceci signifie qu'il n'y a pas de risque immédiat de colmatage de la membrane. Il est donc possible d'augmenter la productivité imposée aux

modules en agissant sur un ou plusieurs des paramètres de fonctionnement, soit, dans cet exemple non limitatif, le débit de perméat et/ou le temps de filtration.

5 3°) On calcule à l'aide du modèle la perméabilité au bout de  $H$  cycles, c'est-à-dire  $Lp(k+H)$  pour tous les couples : débit de perméat  $Qp$  et temps de filtration  $t_f$  et l'on choisit le couple pour lequel on a  $Lp(k+H) > Lp_c$  et pour lequel la productivité est la plus élevée. On pourrait 10 également utiliser une procédure d'optimisation du débit net.

Il reste à déterminer quels paramètres il convient de choisir pour appliquer cette régulation. Il est nécessaire 15 de choisir :

- l'horizon de prédition  $H$  ;
- les valeurs minimales et maximales autorisées des paramètres de productivité tels que par exemple les débit de perméat et temps de filtration ;
- 20 - les pas de variations de ces paramètres et
- la valeur de la perméabilité limite  $Lp_c$ .

Ce choix des paramètres de régulation est effectué à l'aide de simulations de régulation du pilote.

25 On a effectué ces simulations selon la stratégie exposée ci-dessus. Afin de tester la réponse du modèle, on a effectué six manipulations pendant lesquelles il y a eu ou non des dérives de la résistance hydraulique du module. 30 On a tracé les courbes correspondantes de la qualité de l'eau en fonction du temps.

A chaque cycle  $k$ , on a introduit en entrée du modèle les paramètres expérimentaux et les conditions opératoires de début de cycle et le réseau de neurones a calculé, en mode bouclé, la résistance hydraulique sur un horizon de  $H$  cycles en partant de l'hypothèse que tous les paramètres d'entrée sont constants pendant ces cycles. On a obtenu ainsi la perméabilité  $Lp_i(k+H)$  au bout de  $H$  cycles et on calcule le débit net  $Qp_{net\_i}$ .

On a alors testé tous les couples  $(Qp ; t_f)$  que l'on pourrait appliquer au cycle suivant et on a calculé pour chacun la perméabilité  $Lp(k+H)$  au bout de  $H$  cycles.

- Si  $Lp_i(k+H) > Lp_c$ , on garde le couple pour lequel le débit net est supérieur à  $Qp_{net\_i}$ , mais avec la condition  $Lp(k+H) > Lp_c$  ;

- Si  $Lp_i(k+H) < Lp_c$ , on garde le couple pour lequel on obtient  $Lp(k+H) > Lp_c$ , en maximisant si possible le débit net.

Ensuite, on utilise le réseau de neurones pour simuler la réponse réelle du pilote au cycle suivant  $k+1$ , on y entre les commandes de débit de perméat  $Qp$  et de temps de filtration  $t_f$  précédemment calculés, ainsi que les nouveaux paramètres de qualité d'eau et de conditions opératoires. Le réseau calcule la résistance en fin de cycle et en début du cycle suivant.

Afin de tenir compte d'éventuelles variations importantes de la qualité des fluides à traiter, il est nécessaire de choisir un horizon suffisamment grand afin de rendre compte d'une dérive de résistance hydraulique, mais toutefois suffisamment faible pour que l'on puisse

considérer que la qualité de l'eau est constante sur l'horizon H.

On a également déterminé les pas de variations et des 5 bornes du débit de perméat et du temps de filtration devant être choisis pour appliquer la régulation. Les pas de variations sont les intervalles compris entre les différentes valeurs de débit et de temps testées pour optimiser le débit net.

10

Enfin, on a testé l'influence du choix de la valeur de la perméabilité limite  $Lp_c$  sur les commandes et sur la dérive de perméabilité.

15

Ces simulations ont permis de valider le procédé de régulation de l'invention en se servant du modèle de réseaux de neurones pour simuler la réponse du pilote. On a ainsi pu vérifier que la perméabilité était maintenue à un niveau particulièrement élevé et que le débit net était 20 élevé par rapport à un fonctionnement conventionnel sans régulation.

Cette technique a été ensuite validée directement sur site, sur le pilote d'ultrafiltration.

25

On a construit l'algorithme de régulation. Les points essentiels de la stratégie à partir de laquelle cet algorithme a été construit, ont été les suivants :

- variations des commandes de temps de filtration et 30 de débit de perméat (respectivement  $t_f$  et  $Q_p$ ) entre des bornes minima et maxima fixées ;

- pour le débit de perméat, variation d'un cycle à l'autre limitée à  $51.h^{-1}.m^{-2}$  ;

- recherche, pour chaque cycle, du couple ( $t_F$  et  $Q_p$ ) qui produit le débit net le plus fort avec la contrainte :

5  $L_p(k+H) > L_p_c$ ,  $L_p_c$  étant fixée ;

- dans le cas où  $t_F = t_{F\_min.}$ ,  $Q_p=Q_{p\_min.}$  et pour autant que  $L_p(k+H) < L_p_c$ , génération d'une alarme. Selon un mode de mise en oeuvre, l'alarme déclenche un arrêt général du pilote. On peut cependant introduire une séquence 10 d'actions plus progressive, comme un seuil d'alarme à partir duquel on maintient les commandes au minimum pendant quelques cycles et un autre seuil à partir duquel on arrête le pilote ou bien l'on demande l'intervention de l'opérateur.

15

Le schéma de l'algorithme est illustré par la figure 3.

Les constantes intervenant dans l'algorithme sont :

20 - la consigne de perméabilité :  $L_p_c$  ;

- la longueur, en cycles, de l'horizon de prédition :

$H$  ;

- les bornes min et max de variation de  $Q_p$  et  $t_F$  :  $Q_{p\_min}$ ,  $Q_{p\_max}$ ,  $t_{F\_min}$ ,  $t_{F\_max}$  ;

25 - les pas de variation de  $Q_p$  et  $t_F$  lors du test de tous les couples ( $Q_p$ ,  $t_F$ ) :  $\Delta Q_p$  et  $\Delta t_F$ .

Les variables locales sont :

30 - le débit de perméat  $Q_p$  et le temps de filtration  $t_F$  ;

-  $Q_{p\_net0}$ , le débit net retenu comme référence pour comparer les performances des couples ( $Q_p$  et  $t_F$ ) ;

- les variations de  $Q_p$  étant bornées d'un cycle à l'autre à  $\pm 5 \text{ l.h}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ,  $Q_p_{\text{bas}}$  et  $Q_p_{\text{haut}}$  sont les valeurs des bornes entre lesquelles peut varier  $Q_p$ ,

5 -  $Q_p_i$  et  $Q_p_{\text{net}_i}$  et  $L_p_i$  sont le débit, le débit net et la perméabilité initiaux,

-  $L_p$  est le vecteur des perméabilités calculées par le réseau de neurones ;

-  $Q_p_{\text{net}}$  est le débit net calculé avec les valeurs courantes de  $Q_p$  et  $t_F$  ;

10 -  $Q_p_c$  et  $t_F_c$  sont les valeurs de commandes retenues de débit et de temps, qui seront transmises en variables d'appel, en sortie du programme ;

15 - alarme est un booléen, transmis en sortie du programme, qui indique si on est en fonctionnement critique ou non.

Les variables d'appel sont :

- entrées :  $T$ ,  $Q_p$ ,  $t_F$ ,  $Q_c$ ,  $T_{\text{ur}}$ ,  $C_{\text{OT}}$ ,  $O_2$ ,  $pH$ ,  $UV$ ,  $EH$ ,  $X_i$ ,  $P_{RL}$ ,  $[Cl]_{RL}$ ,  $t_{RL}$ ,  $P_{tm}$  ;

20 - sorties :  $Q_p$ ,  $t_F$ , alarme.

Dans le bloc « initialisations », on initialise  $Q_p_c$  et  $t_F_c$  à  $Q_p_{\text{min}}$  et  $t_F_{\text{min}}$  respectivement et l'alarme à 0.

25 Le procédé de régulation objet de l'invention a été validé sur site. Un exemple des résultats obtenus sur environ une semaine de manipulation est illustré par les courbes des figures 4a à 4c et 5a à 5c sur lesquelles on trouve, en abscisses, le nombre de cycles d'opérations et 30 en ordonnées les différents paramètres mesurés de la qualité de l'eau, la perméabilité, la prédition de

perméabilité après  $H$  cycles par le modèle et les commandes de débit de perméat et de temps de filtration.

Il a été possible, grâce à l'invention, de maintenir 5 une perméabilité supérieure à une limite fixée, pendant plusieurs jours, en agissant sur le temps de filtration  $t_F$  et sur le débit de perméat  $Q_p$  pour limiter l'apparition du colmatage des membranes d'ultrafiltration.

10 Il demeure bien entendu que la présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits et représentés ci-dessus, mais qu'elle en englobe toutes les variantes, telles que celles mettant en œuvre des lavages hydropneumatiques ou pneumatiques ou faisant appel à des 15 paramètres de fonctionnement autres que le débit de perméat ou le temps de filtration.

## REVENDICATIONS

1 - Procédé de régulation d'une installation de filtration sur membranes, notamment dans une station de production d'eau potable, conçu de façon à éviter le colmatage irréversible des membranes tout en maximisant la productivité, quelle que soit la qualité du fluide à l'entrée de l'installation, caractérisé en ce qu'il consiste à asservir les paramètres de fonctionnement de l'installation aux performances induites par la qualité du fluide à traiter, en fonction de prédictions d'évolution du colmatage membranaire effectuées par modélisation par réseaux de neurones de façon à simuler le fonctionnement à long terme de l'installation de filtration sur membranes, le modèle permettant :

- en fonction de la qualité du fluide influant et de l'état des membranes lors d'un cycle donné, de calculer l'évolution de l'état de colmatage desdites membranes en fonction du temps, sur un horizon déterminé, ledit calcul étant effectué pour une qualité du fluide influant simulée, constante ou variable, sur cet horizon (H) et

- de contrôler et d'ajuster les paramètres de fonctionnement de l'installation.

25 2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on impose un niveau de colmatage limite, la régulation agissant de telle sorte que l'installation fonctionne avec un niveau de colmatage égal ou inférieur à cette limite.

30

3 - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que, à chaque cycle de production :

- on détermine sur l'installation les valeurs expérimentales de tous les paramètres de qualité et de conditions opératoires ;

5 - les paramètres sont portés en entrée du modèle de prévision de colmatage traité sur réseaux de neurones et qui calcule l'évolution du colmatage sur un horizon de prédition ( $H$ ), ce qui permet de prévoir la perméabilité au terme de  $H$  cycles de production ;

10 - on diminue le débit net imposé lorsque la perméabilité au terme de  $H$  cycles est inférieure à la perméabilité limite ( $Lp_c$ ) et

15 - on augmente le débit net imposé lorsque la perméabilité au terme de  $H$  cycles est supérieure à la perméabilité limite ( $Lp_c$ ) en agissant sur le débit de perméat et/ou sur le temps de filtration.

20 4 - Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'on asservit les valeurs respectives du couple : débit de perméat-temps de filtration de telle sorte que la perméabilité au terme de  $H$  cycles soit égale ou supérieure à la perméabilité limite ( $Lp_c$ ) et que le débit net soit le plus élevé possible.

25 5 - Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'on asservit les valeurs respectives d'un ou plusieurs des paramètres de fonctionnement suivants :

- débit de perméat ou pression transmembranaire, selon que l'on fonctionne, en production, à pression constante ou à débit constant ;

30 - temps de filtration ;

- débit de circulation, avec passage possible d'un mode de recirculation à un mode frontal ;

- débit de purge de la boucle de circulation ;
- durée du rétrolavage ;
- pression de rétrolavage ou débit de rétrolavage, selon qu'on fonctionne à pression constante ou à débit constant pour le rétrolavage ;
- concentration de chlore dissous ou de tout autre additif dans l'eau de rétrolavage et
- paramètres d'injection/dosage d'un additif pendant le cycle de filtration.

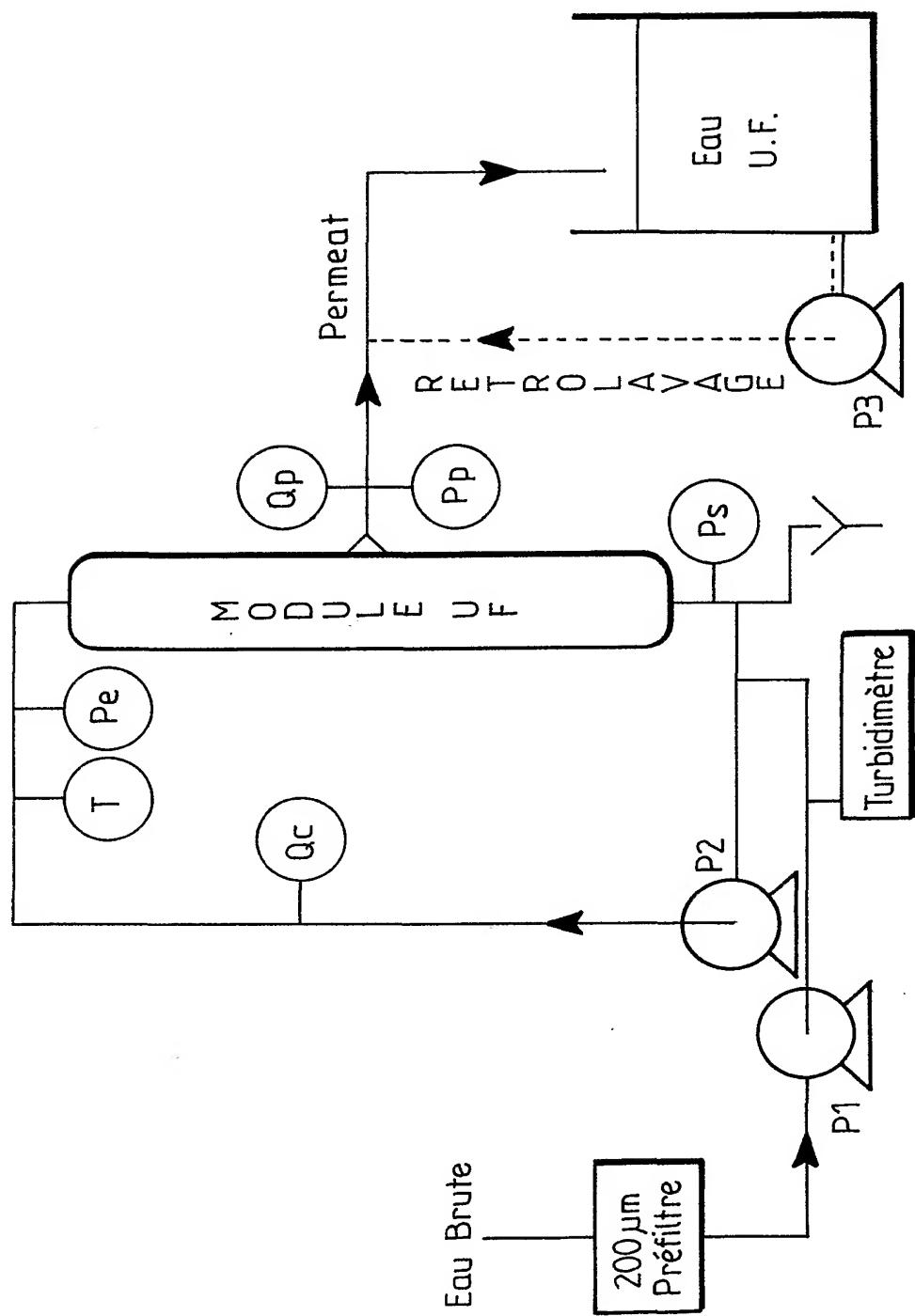


FIG.1

2/9

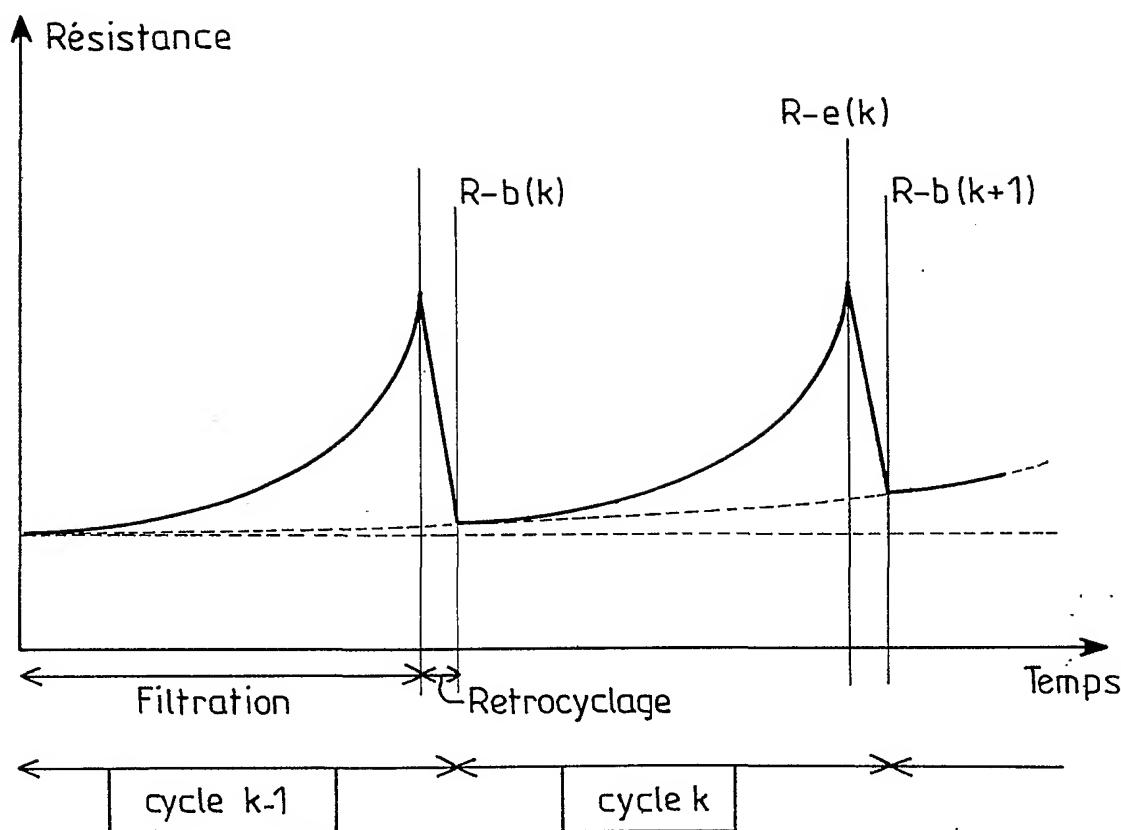


FIG.2

3/9

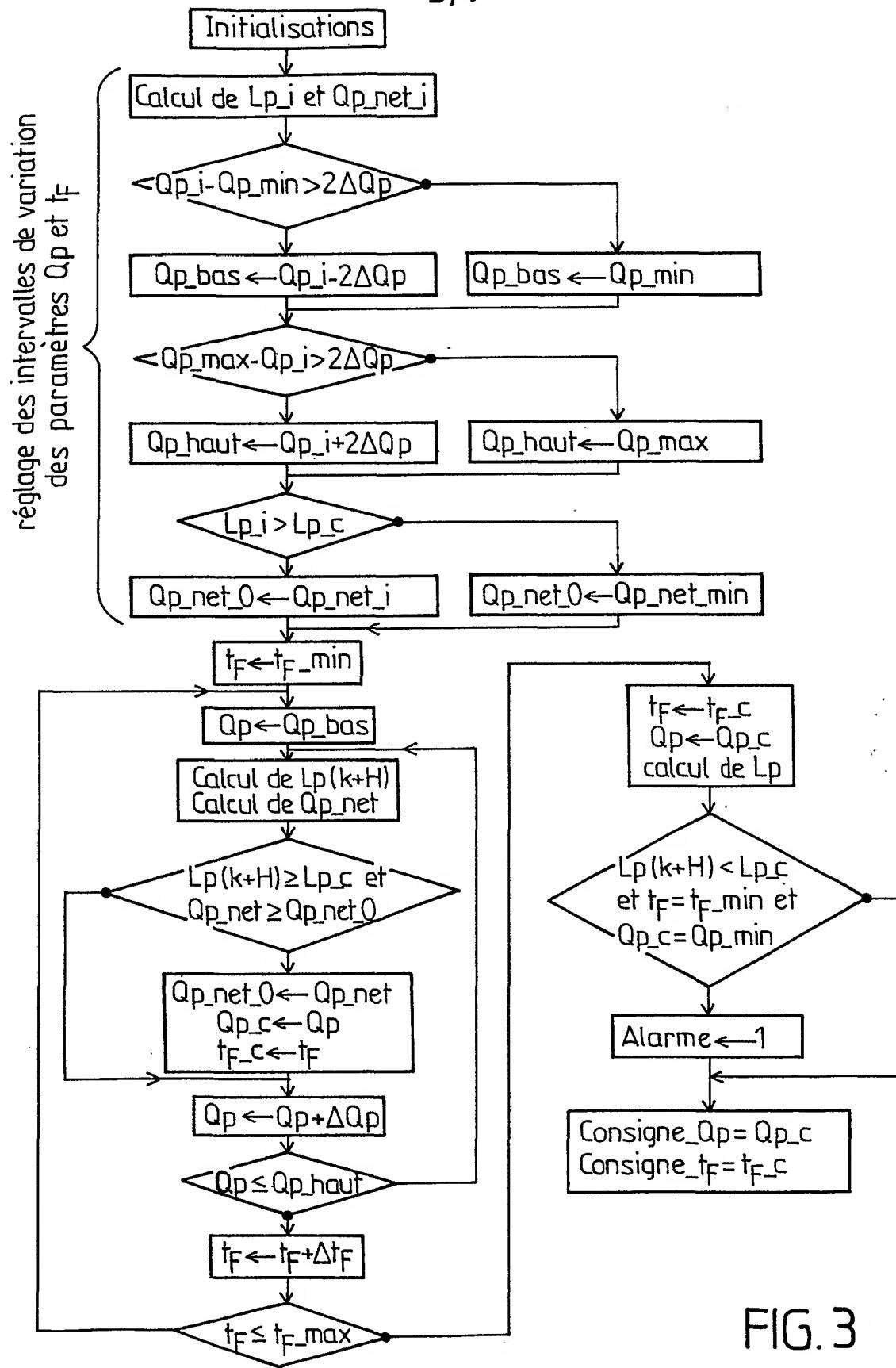


FIG.3

4/9

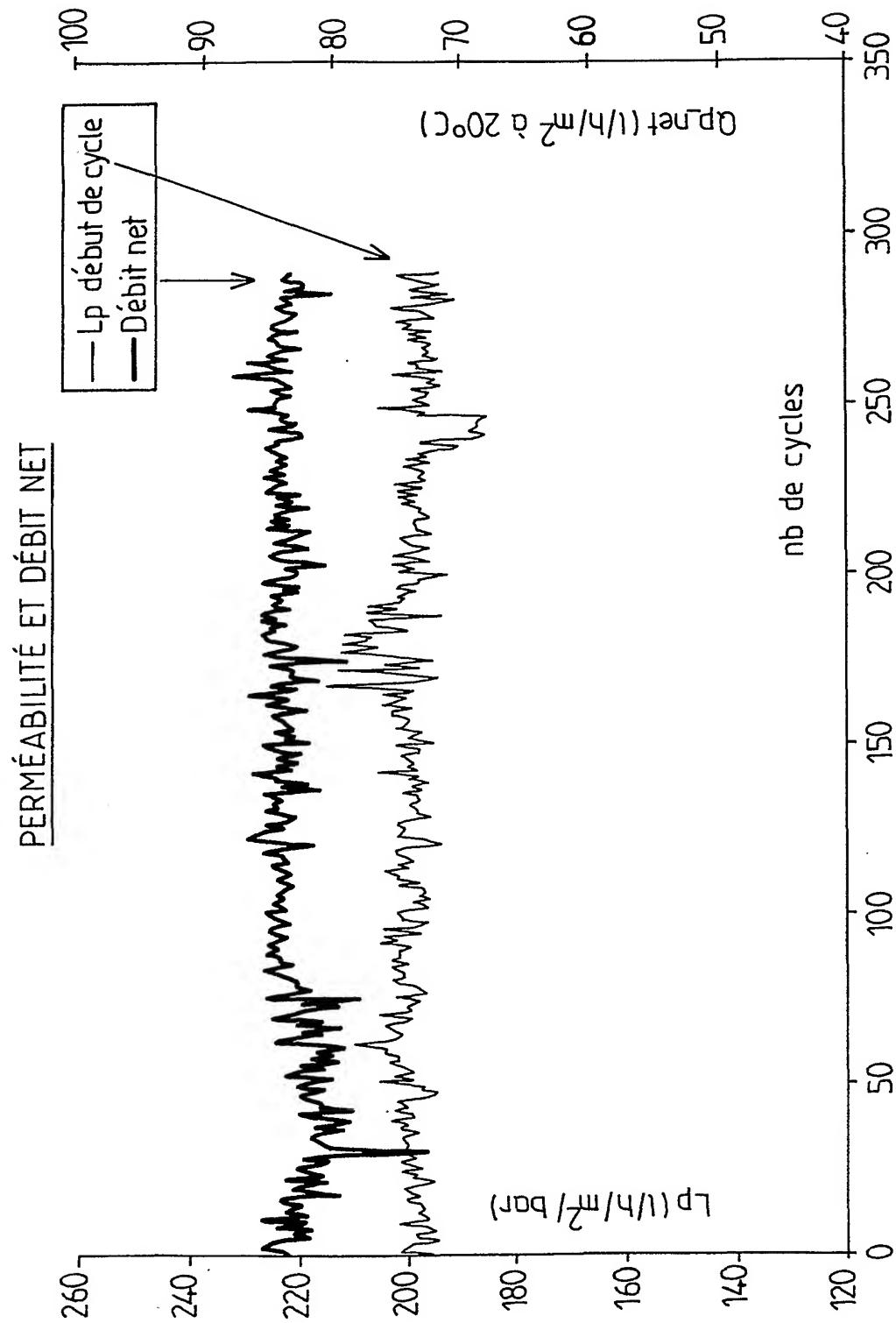


FIG. 4a

5/9

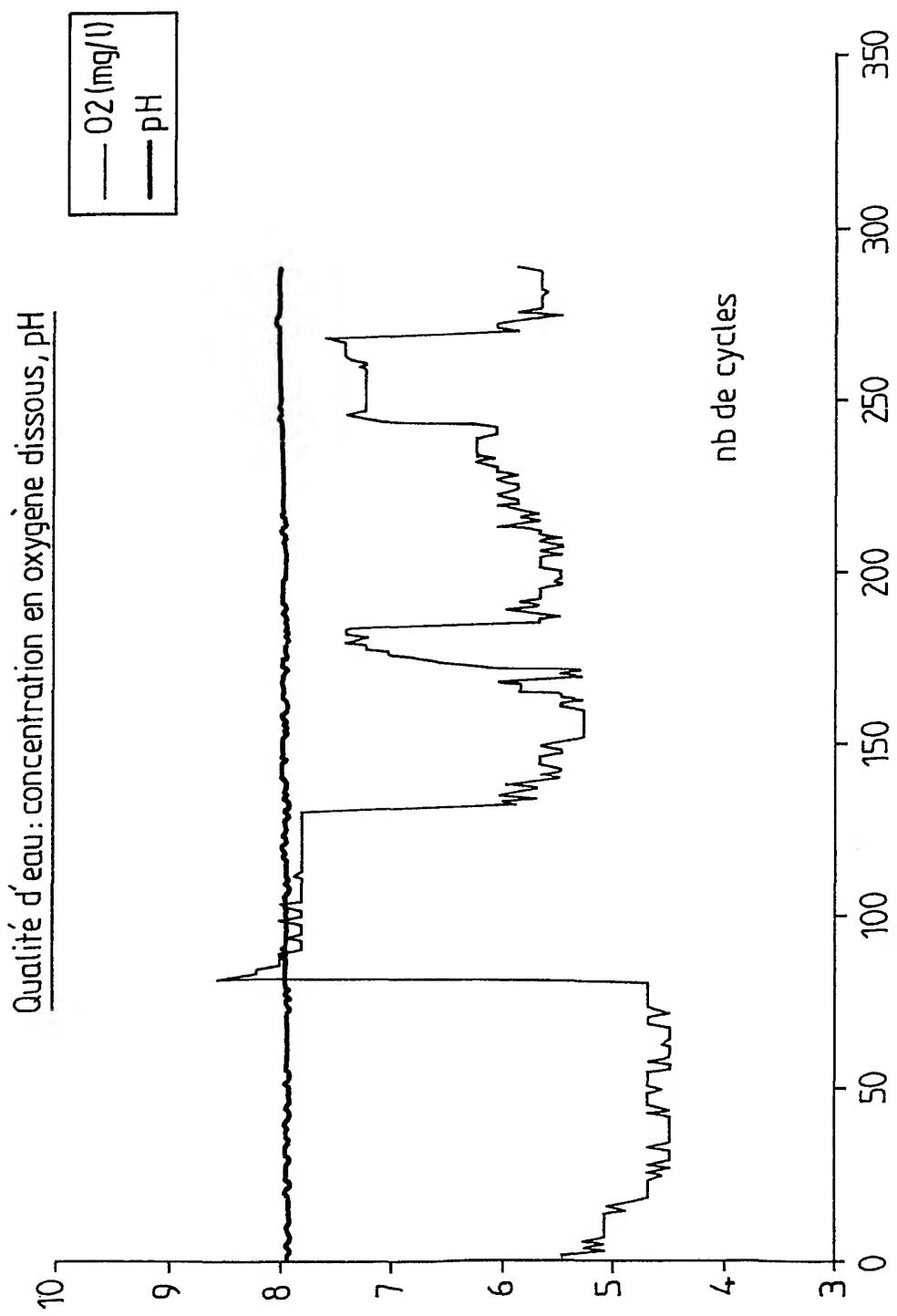


FIG.4b

6/9

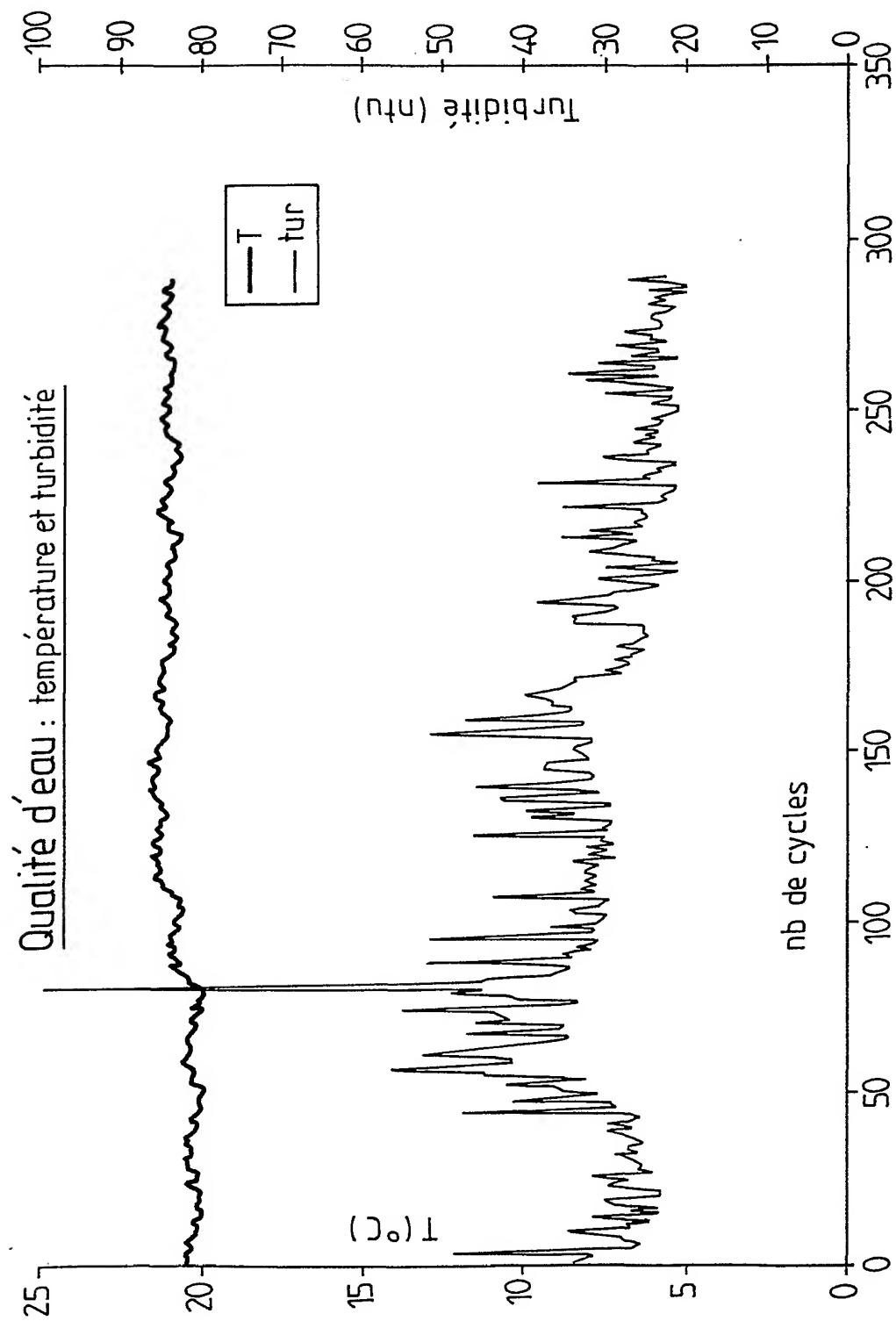


FIG.4C

7/9

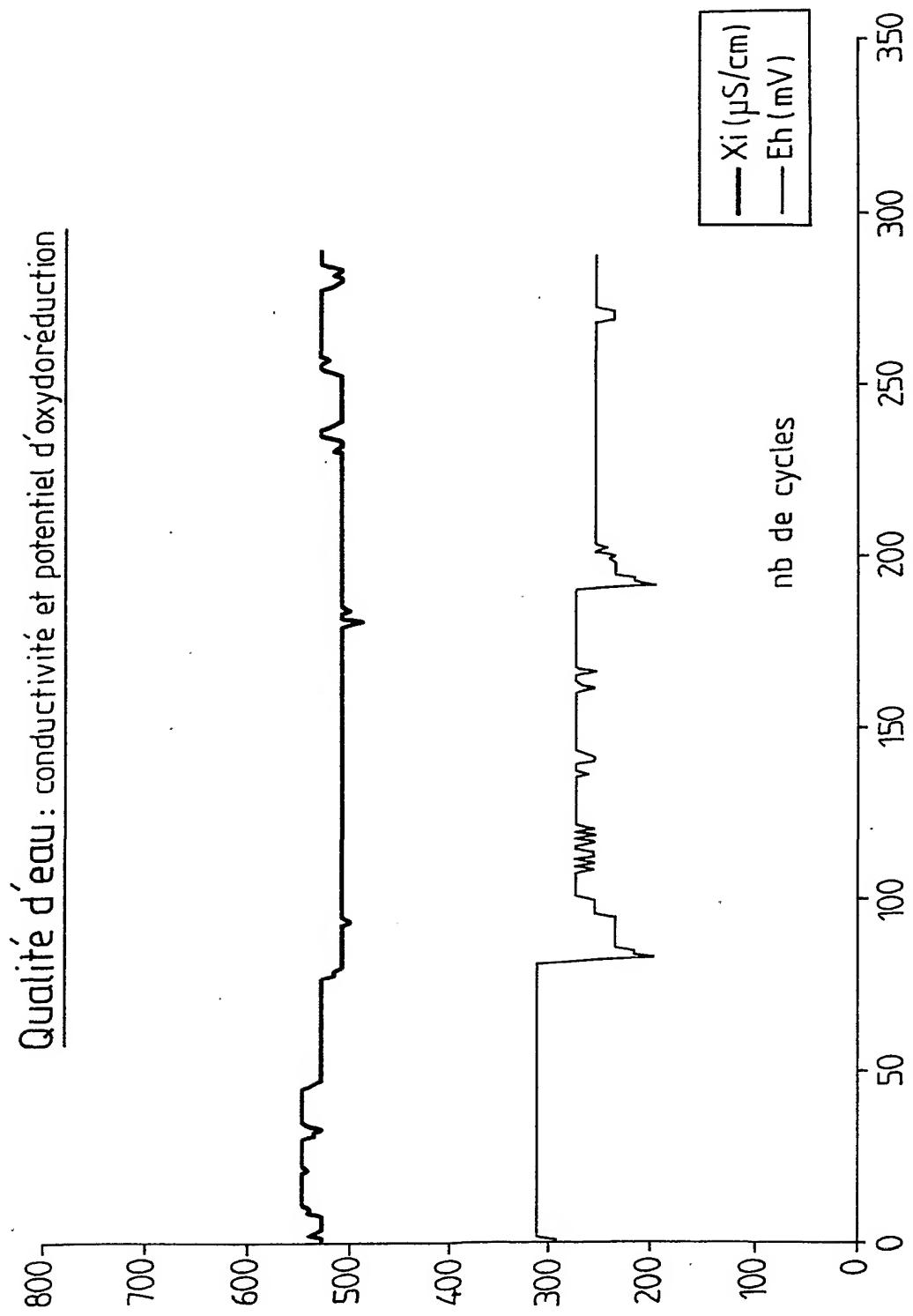


FIG. 5a

8/9

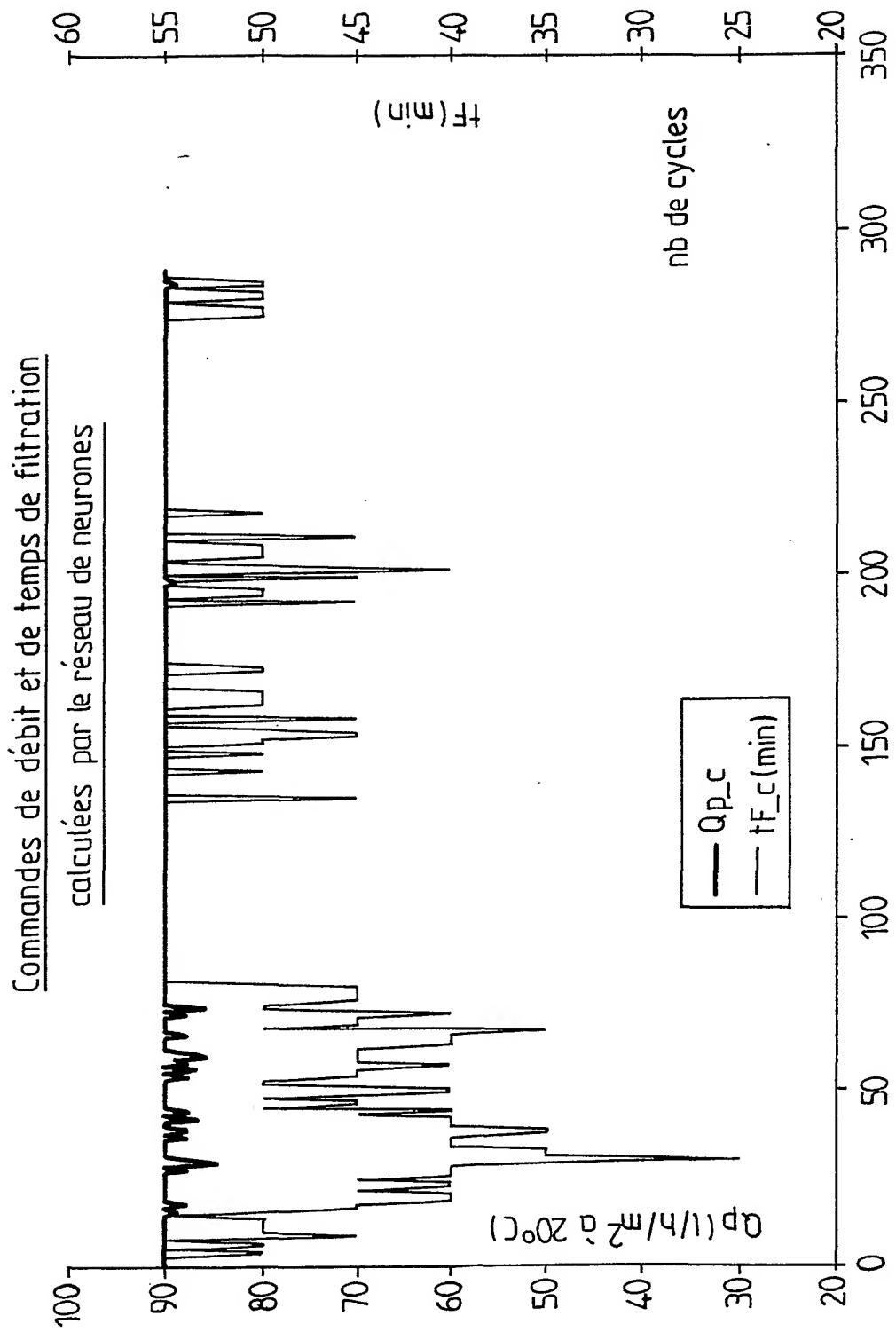


FIG. 5b

9/9

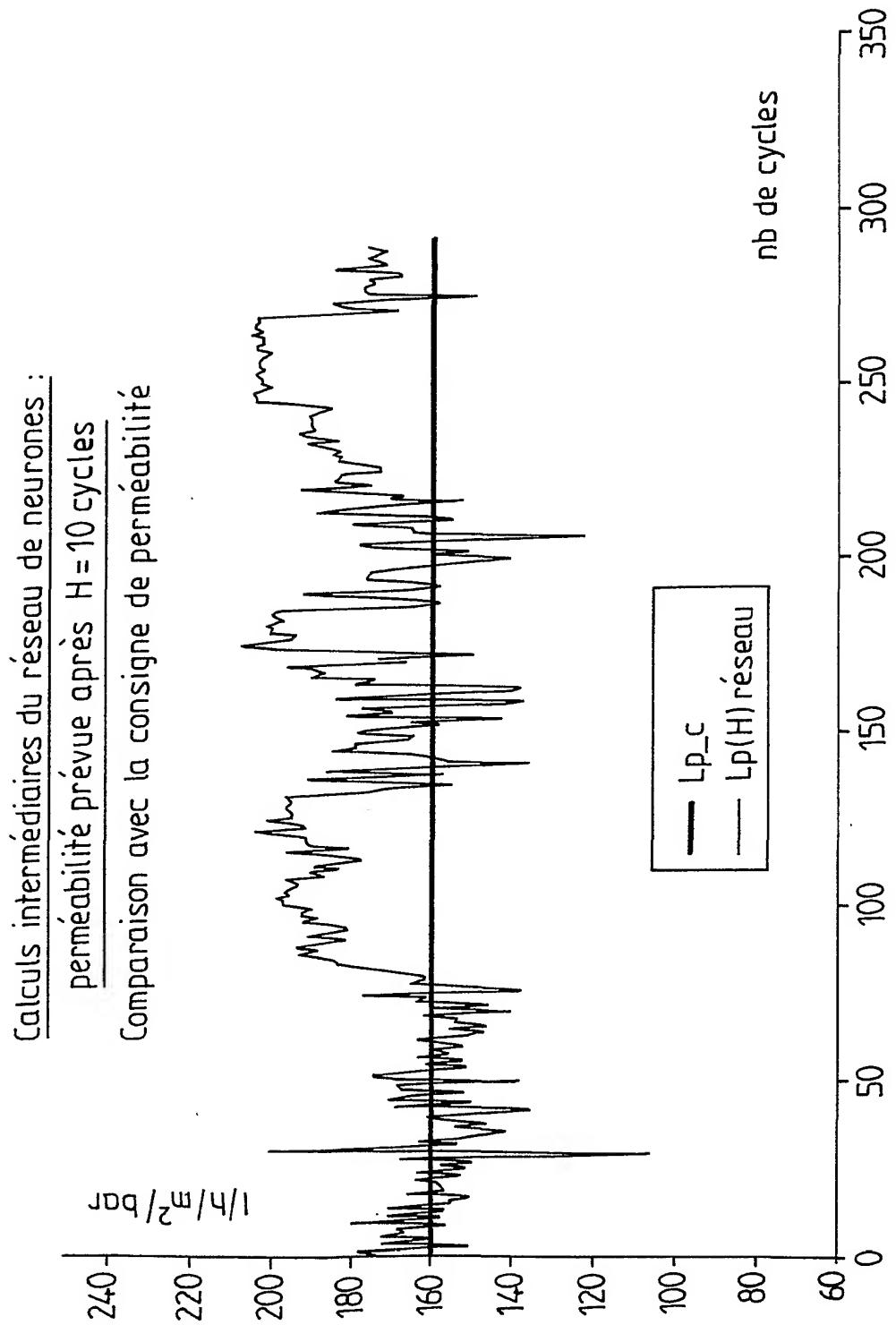


FIG. 5c

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 01/03828

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 7 B01D61/22 B01D65/02 B01D65/08 C02F1/44

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B01D C02F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 88 01529 A (MEMTEC LIMITED) 10 March 1988 (1988-03-10) claims 1-11 ---	1-5
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1999, no. 04, 30 April 1999 (1999-04-30) & JP 11 019485 A (FUJI ELECTRIC CO LTD), 26 January 1999 (1999-01-26) abstract --- -/-	1-5

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the International filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 February 2002

Date of mailing of the international search report

18/02/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Cordero Alvarez, M

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR 01/03828

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DATABASE WPI Week 199541 Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 1995-316099 XP002174959 & JP 07 213875 A ((HIEJ) HITACHI OLANT ENG & CONSTR CO), 15 August 1995 (1995-08-15) abstract ----	1-5
A	DATABASE WPI Week 199833 Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 1998-380289 XP002174960 & JP 10 151328 A ((MAZK) MAEZAWA KOGYO KK) abstract ----	1-5
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1999, no. 01, 29 January 1999 (1999-01-29) & JP 10 277549 A (JAPAN ORGANO CO LTD) abstract ----	1-5
A	US 5 879 557 A (G. STROHM ET AL) 9 March 1999 (1999-03-09) claims 1-13 ----	1-5
A	WO 93 20721 A (B. GRESCH ET AL, BUCHER-GUYER AG MASCHINENFABRIK) 28 October 1993 (1993-10-28) claims -----	1-5

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 01/03828

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
WO 8801529	A	10-03-1988	AU	605187 B2		10-01-1991
			AU	7963787 A		24-03-1988
			WO	8801529 A1		10-03-1988
			DK	241388 A		24-06-1988
			EP	0280717 A1		07-09-1988
			JP	1501046 T		13-04-1989
			NO	177218 B		02-05-1995
			US	4921610 A		01-05-1990
JP 11019485	A	26-01-1999		NONE		
JP 7213875	A	15-08-1995	JP	2876978 B2		31-03-1999
JP 10151328	A	09-06-1998		NONE		
JP 10277549	A	20-10-1998		NONE		
US 5879557	A	09-03-1999	DE	4332175 A1		23-03-1995
			DE	59404976 D1		12-02-1998
			DK	720509 T3		07-09-1998
			WO	9508386 A1		30-03-1995
			EP	0720509 A1		10-07-1996
			ES	2111334 T3		01-03-1998
			JP	9503659 T		15-04-1997
WO 9320721	A	28-10-1993	WO	9320721 A1		28-10-1993
			DE	59204774 D1		01-02-1996
			EP	0589890 A1		06-04-1994

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 01/03828

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
 CIB 7 B01D61/22 B01D65/02 B01D65/08 C02F1/44

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
 CIB 7 B01D C02F

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	WO 88 01529 A (MEMTEC LIMITED) 10 mars 1988 (1988-03-10) revendications 1-11 ----	1-5
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1999, no. 04, 30 avril 1999 (1999-04-30) & JP 11 019485 A (FUJI ELECTRIC CO LTD), 26 janvier 1999 (1999-01-26) abrégé ----	1-5 -/-



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*&\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

8 février 2002

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

18/02/2002

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Cordero Alvarez, M

## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 01/03828

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	DATABASE WPI Week 199541 Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 1995-316099 XP002174959 & JP 07 213875 A ((HIEJ) HITACHI OLANT ENG & CONSTR CO), 15 août 1995 (1995-08-15) abrégé ---	1-5
A	DATABASE WPI Week 199833 Derwent Publications Ltd., London, GB; AN 1998-380289 XP002174960 & JP 10 151328 A ((MAZK) MAEZAWA KOGYO KK) abrégé ---	1-5
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1999, no. 01, 29 janvier 1999 (1999-01-29) & JP 10 277549 A (JAPAN ORGANO CO LTD) abrégé ---	1-5
A	US 5 879 557 A (G. STROHM ET AL) 9 mars 1999 (1999-03-09) revendications 1-13 ---	1-5
A	WO 93 20721 A (B. GRESCH ET AL, BUCHER-GUYER AG MASCHINENFABRIK) 28 octobre 1993 (1993-10-28) revendications -----	1-5

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 01/03828

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
WO 8801529	A	10-03-1988	AU	605187 B2		10-01-1991
			AU	7963787 A		24-03-1988
			WO	8801529 A1		10-03-1988
			DK	241388 A		24-06-1988
			EP	0280717 A1		07-09-1988
			JP	1501046 T		13-04-1989
			NO	177218 B		02-05-1995
			US	4921610 A		01-05-1990
JP 11019485	A	26-01-1999	AUCUN			
JP 7213875	A	15-08-1995	JP	2876978 B2		31-03-1999
JP 10151328	A	09-06-1998	AUCUN			
JP 10277549	A	20-10-1998	AUCUN			
US 5879557	A	09-03-1999	DE	4332175 A1		23-03-1995
			DE	59404976 D1		12-02-1998
			DK	720509 T3		07-09-1998
			WO	9508386 A1		30-03-1995
			EP	0720509 A1		10-07-1996
			ES	2111334 T3		01-03-1998
			JP	9503659 T		15-04-1997
WO 9320721	A	28-10-1993	WO	9320721 A1		28-10-1993
			DE	59204774 D1		01-02-1996
			EP	0589890 A1		06-04-1994